

УДК 543.4: 544.36:544.34

Р.Є. Хома^{1,2*}, Т.С. Беньковська^{1,2}, Є.Ю. Бугова²,
Л.Т. Осадчий¹, С.В. Водзінський^{1,2}, С.В. Топоров²

¹Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
МОН України та НАН України, вул. Преображенська 3, 65082, Одеса

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082

*e-mail: rek@onu.edu.ua

КИСЛОТНО-ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ SO₂ – Am (KOH) – ТРОПЕОЛІН ООО – H₂O (Am – ЕТАНОЛАМІНИ, МОРФОЛІН)

Здійснено спектродифузійно- та кольориметричне дослідження протеолітичних рівноваг в системах SO₂ – Am (KOH) – Тропеолін ООО (TrOOO) – H₂O (Am – етаноламіни, морфолін) при C_{TrOOO} = 1,12×10⁻⁴ М, C_{Am(KOH)} = 0,1 М, T = 293 К. Встановлено взаємозв'язок кольориметричних функцій (повної колірної відмінності та питомої колірної відмінності) систем SO₂ – Am – TrOOO – H₂O із молярною рефракцією Am, емпіричною функцією pK_a – lgP_{ow}^{*}, що об'єднує їх основність та гідрофільність, константами утворення амонієвих сульфатів та гідросульфатів, характеристиками рН (dрН/dрQ_{SO₂}), редокс (dE/dрQ_{SO₂}) і кондуктометричних (Δκ) кривих титрування водних розчинів Am газоподібним оксидом сірки (IV).

Ключові слова: кольориметрія, етаноламіни, морфолін, водні розчини, оксид сірки (IV).

В продовження проведених нами раніше досліджень [1–9] щодо розробки хемосорбентів кислих газів з індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності, у даній роботі приведені дані вивчення кислотно-основних властивостей модельних систем SO₂ – KOH – TrOOO – H₂O та SO₂ – Am – TrOOO – H₂O (TrOOO – тропеолін ООО; Am – діетаноламін (DEA), триетаноламін (TEA), N-метилмоноетаноламін (MMEA) та морфолін (Mf)) при 293 К за допомогою методів рН-метрії, спектродифузійної та кольориметрії, подібно [8, 9]. Методика проведення експерименту детально описана в [8].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані дані спектродифузійного дослідження кислотно-основної взаємодії в системах SO₂ – Am(KOH) – TrOOO – H₂O наведені на рис. 1–5.

В електронних спектрах поглинання в системах SO₂ – Am – TrOOO – H₂O (Am = MMEA та TEA; рН ≤ 7,5; T = 293 К) присутня виражена ізобестична точка при 415 нм (рис. 3-5), що вказує на наявність динамічної рівноваги між іон-молекулярними формами, подібно системі із моноетаноламіном (MEA) [8]. В області рН від 2 до 8 спостерігається смуга поглинання при 480 ÷ 500 нм (рис. 1 – 5; табл. 1). Крім того проявляється смуга з максимумом при 345 ÷ 375 нм, яка для систем HCl (HClO₄, H₂SO₄) – MEA – TrOOO – H₂O не є характерною [8].

DOI: [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2022.3\(83\).268625](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2022.3(83).268625)

43

© Р.Є. Хома, Т.С. Беньковська, Є.Ю. Бугова, Л.Т. Осадчий, С.В. Водзінський,
С.В. Топоров, 2022

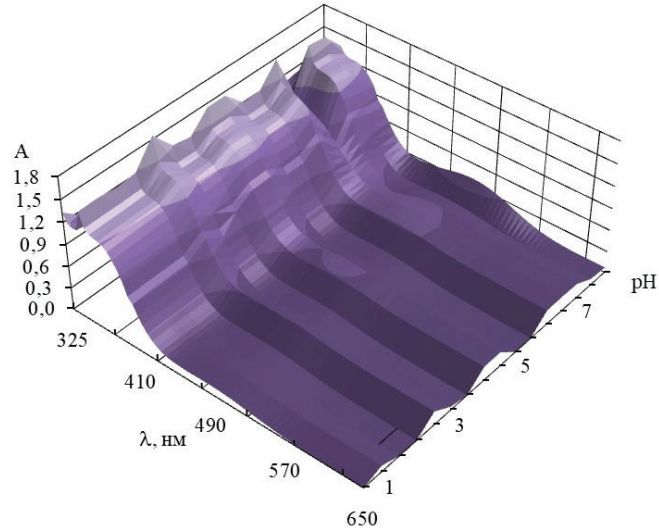


Рис. 1. Залежність спектрів поглинання системи $\text{SO}_2 - \text{KOH} - \text{TrOOO} - \text{H}_2\text{O}$ від pH середовища. $C_{\text{KOH}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Fig. 1. $\text{SO}_2 - \text{KOH} - \text{TrOOO} - \text{H}_2\text{O}$ system absorption spectra dependence on the pH medium. $C_{\text{KOH}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Таблиця 1

Положення максимумів у спектрах поглинання систем $\text{SO}_2 - \text{Am}(\text{KOH}) - \text{TrOOO} - \text{H}_2\text{O}$ при 293 K

Table 1

The maximums position in $\text{SO}_2 - \text{Am}(\text{KOH}) - \text{TrOOO} - \text{H}_2\text{O}$ systems absorption spectra at 293 K

Основа	I-ий максимум		II-ий максимум	
	l	pH	l	pH
KOH	360	2,0 ÷ 9,0	485	2,0 ÷ 8,0
MEA [8]	370	2,0 ÷ 8,5	490	2,0 ÷ 7,5
DEA	360	2,0 ÷ 9,5	495	7,0 ÷ 8,5
TEA	345 ÷ 375	2,0 ÷ 9,0	480 ÷ 500	7,5 ÷ 8,5
MMEA	345 ÷ 370	2,0 ÷ 9,5	500	9,5
Mf	350	2,0 ÷ 8,5	490	2,0 ÷ 9,5

За шириною спектра поглинання (рис. 1–5) основи в області $2,0 \leq \text{pH} \leq 8,0$ можна розташувати в наступний ряд:

$\text{MEA [8]} > \text{Mf} > \text{KOH} > \text{DEA} > \text{TEA} > \text{MMEA}$.

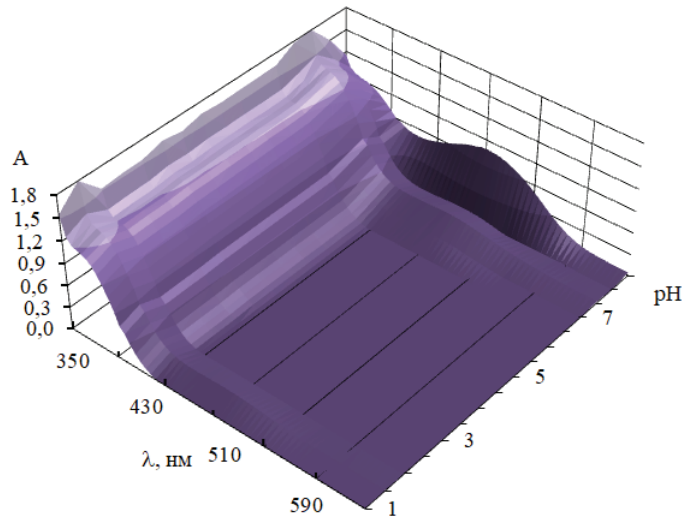


Рис. 2. Залежність спектрів поглинання системи SO_2 – DEA – TrOOO – H_2O від pH середовища. $C_{\text{DEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Fig. 2. SO_2 – DEA – TrOOO – H_2O system absorption spectra dependence on the pH medium. $C_{\text{DEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Щодо впливу на оптичну густина при 490 нм в області $5,5 \leq \text{pH} < 9,0$ основи можна розташувати в наступний ряд:

$$\text{KOH} > \text{Mf} \geq \text{MEA} [8] > \text{DEA} \geq \text{TEA}.$$

У більш кислому середовищі ($\text{pH} < 6,0$) для систем із KOH, MEA та Mf оптична густина при 490 нм не залежить від pH і основи:

$$\text{KOH} = \text{MEA} [8] = \text{Mf} > \text{DEA} = \text{TEA}.$$

За значеннями оптичної густини при 360 нм в області $2,0 \leq \text{pH} < 8,5$ основи можна розташувати в наступний ряд:

$$\text{Mf} > \text{KOH} \geq \text{MEA} [8] \geq \text{DEA} > \text{MMEA} > \text{TEA}.$$

Кольорометричним методом розраховані значення повної колірної відмінності (ΔE_{76}) і питомої колірної відмінності (SCD) в залежності від pH (рис. 6). Згідно з отриманими даними константи кислотно-основної дисоціації в системі SO_2 – Ам (KOH) – TrOOO – H_2O істотно залежать від будови і фізико-хімічних властивостей органічної основи та істотно відрізняються від таких у системах HCl (HClO_4 , H_2SO_4) – MEA – TrOOO – H_2O [8].

Згідно даним [10–14], при хемосорбції оксиду сірки (IV) водними розчинами етаноламінів утворюються амонієві сульфіти (реакція 1), гідросульфіти та піросульфіти (реакції 2 та 3, відповідно):

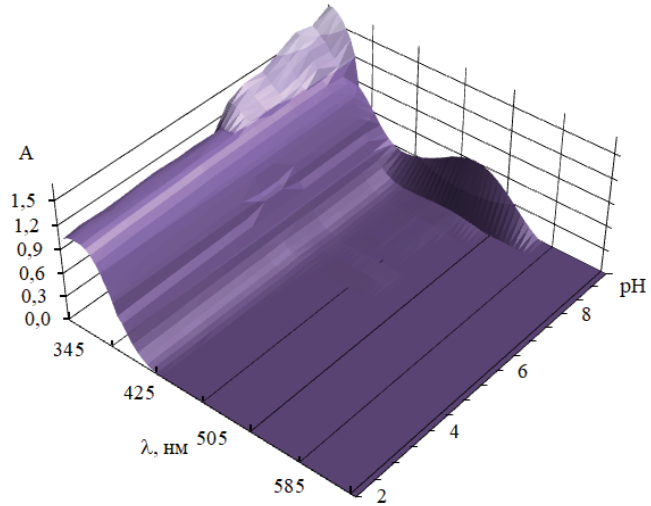


Рис. 3. Залежність спектрів поглинання системи SO_2 – TEA – TrOOO – H_2O від pH середовища. $C_{\text{TEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Fig. 3. SO_2 – TEA – TrOOO – H_2O system absorption spectra dependence on the pH medium. $C_{\text{TEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

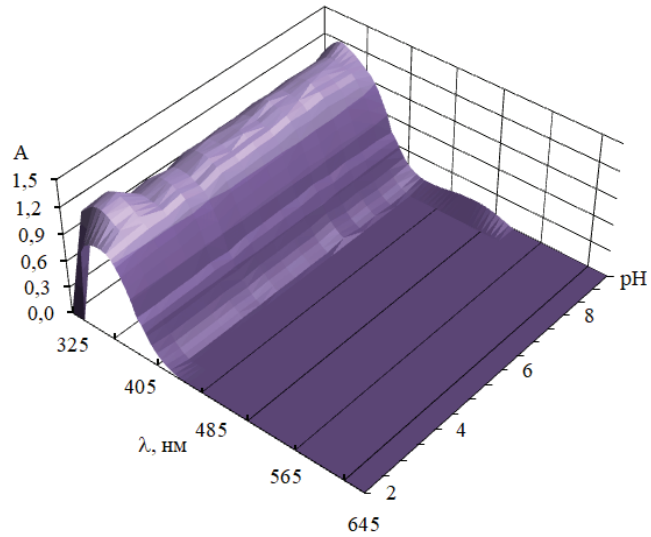


Рис. 4. Залежність спектрів поглинання системи SO_2 – MMEA – TrOOO – H_2O від pH середовища. $C_{\text{MMEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

Fig. 4. SO_2 – MMEA – TrOOO – H_2O system absorption spectra dependence on the pH medium. $C_{\text{MMEA}} = 0,1 \text{ M}$, $T = 293 \text{ K}$.

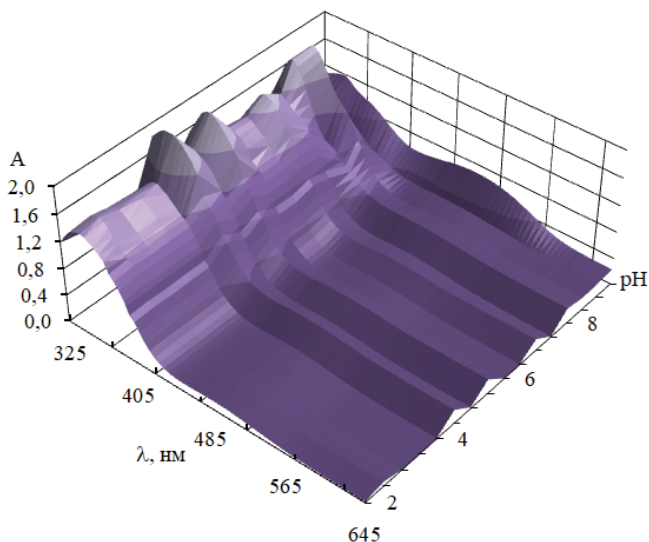
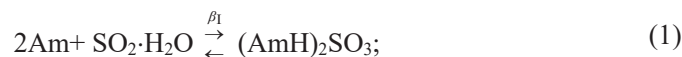


Рис. 5. Залежність спектрів поглинання системи SO_2 – Mf – TrOOO – H_2O від pH середовища. $C_{Mf} = 0,1$ M, $T = 293$ K.

Fig. 5. SO_2 – Mf – TrOOO – H_2O system absorption spectra dependence on the pH medium. $C_{Mf} = 0,1$ M, $T = 293$ K.



Раніше нами [12–16] були виявлені взаємозв'язки між відносною стійкістю $(AmH)_2SO_3$, $(AmH)HSO_3$ у водних розчинах та фізико-хімічними властивостями Am, що їх утворюють, а також характеристиками рН-, редокс- та кондуктометричних кривих титрування газоподібним оксидом сірки (IV) водних 0,1 M розчинів Am (табл. 2). При зіставленні даних табл. 2 з результатами кольорометрії (рис. 6) виявлено таке.

В області утворення амонієвих сульфатів (рН = 9,0) [10–15] в ряду етаноламінів TEA – DEA – MEA – MMEA із підвищенням значень емпіричної функції $(pK_a - \lg P_{ow})$, що об'єднує основність та ліпофільність Am [17], відбувається зміцнення утворених амонієвих сульфатів (значення $p\beta_I$), що супроводжується зменшенням значень кольорометричної функції ΔE_{76} . Вказані залежності описуються рівняннями виду:

$$\Delta E_{76} = 390,59 - 35,19 \cdot (pK_a - \lg P_{ow}), \quad R^2 = 0,9105; \quad (4)$$

$$\Delta E_{76} = 296,49 + 14,449 \cdot p\beta_I, \quad R^2 = 0,9609. \quad (5)$$

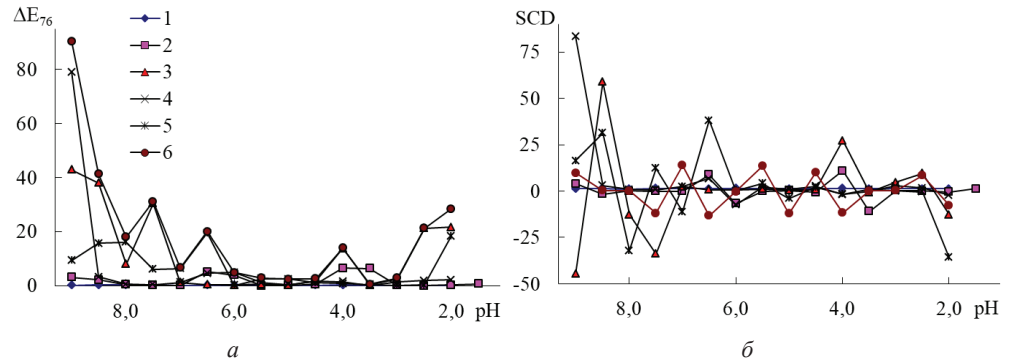


Рис. 6. Залежності величин кольориметричних функцій ΔE_{76} (а) та SCD (б) систем $\text{SO}_2\text{-Am(KOH)-TrOOO-H}_2\text{O}$ від рН середовища. (1); Am: MEA (2) [8], DEA (3), TEA (4), MMEA (5), Mf (6).

Fig. 6. $\text{SO}_2\text{-Am(KOH)-TrOOO-H}_2\text{O}$ system colorimetric functions ΔE_{76} (a) and SCD (b) dependences on the medium pH. KOH (1); Am: MEA (2) [8], DEA (3), TEA (4), MMEA (5), Mf (6).

Морфолін в указані ряди не входить, так як його амонієвий сульфід відрізняється високим ступенем дисоціації [14].

Для систем із MEA, DEA та TEA також спостерігаються взаємозв'язки кольориметричних функцій із характеристиками кондукто- і редоксметричних кривих (рівняння 6 та 7, відповідно) та ліпофільністю (рівняння 6).

$$\Delta E_{76} = -22,183 - 210,52 \cdot \Delta \kappa; \quad R^2 = 0,9999 \quad (6)$$

$$\text{SCD} = 118,74 + 0,2759 \text{dE/dp}Q_{\text{SO}_2}; \quad R^2 = 0,9048 \quad (7)$$

$$\text{SCD} = 375,24 + 289,59 \cdot \lg P_{\text{ow}}; \quad R^2 = 0,9873 \quad (8)$$

Також простежується залежність повної колірної відмінності розчинів MEA, DEA та TEA при рН 8,5 від характеристик диференціальних рН-метричних кривих та молярної рефракції:

$$\Delta E_{76} = -6,5581 + 0,527 \cdot \text{dpH/dp}Q_{\text{SO}_2}; \quad R^2 = 0,9826; \quad (9)$$

$$\Delta E_{76} = -28,17 + 1,6805 \cdot MR; \quad R^2 = 0,9826. \quad (10)$$

В області утворення амонієвих гідросульфідів (рН 4,5 [10–13, 15]) для Am, окрім TEA (вказана сіль необоротно гідролізується [15]), спостерігається залежність виду (11):

$$\Delta E_{76} = 15,493 - 1,358 \cdot (\text{p}K_a - \lg P_{\text{ow}}); \quad R^2 = 0,9295. \quad (11)$$


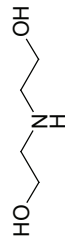
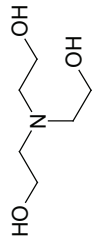
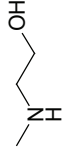
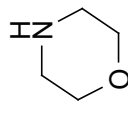
При цьому із зростанням основності етаноламінів: $\text{TEA} < \text{DEA} < \text{MEA}$ збільшуються значення $\text{p}K_a - \lg P_{\text{ow}}$ [16], що супроводжується зменшенням значень питомої колірної відмінності розчинів в указаних умовах:

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості етаноламінів і морфоліну; характеристики, що описують відносну стійкість амонійних сульфідів та гідросульфідів у водних розчинах

Table 2

Ethanolamines and morpholine physico-chemical properties; ammonium sulfites and hydrosulfites relative stability characteristics describing in aqueous solutions

№ п/п	Амін	Формула	pK_a	$lgP_{ов}^{екст}$ [19]	$lgP_{ов}^{т}$ [16]	$MR, \text{\AA}$ [16]	$p\beta_1$	$d\text{pH}/d\text{p}Q_{SO_2}$	$dE/d\text{p}Q_{SO_2}$	Δk	$p\beta_n$
1.	MEA		9,44 [16]	-1,31	-1,06	16,21	-19,74	22,8 [13]	-334 [13]	-0,12 [13]	-5,76
2.	DEA		8,88 [16]	-1,59	-1,17	38,87	-17,38	15,3 [13]	-621 [13]	-0,31 [13]	-5,28
3.	TEA		7,76 [16]	-0,91	-0,65	20,99	-15,23	14,8 [13]	-182 [13]	-0,48 [13]	-
4.	MMEA		9,85 [16]	-1,43	-1,09	27,28	-20,43	39,6 [13]	нд	нд	-7,09
5.	Mf		8,36 [18]	-1,08	-0,55	23,77	-	90,9 [14]	-79 [14]	-0,06 [14]	нд

$$\text{SCD} = 17,547 - 1,924 \cdot \text{p}K_a; \quad R^2 = 0,991; \quad (12)$$

$$\text{SCD} = 16,176 - 1,5447 \cdot (\text{p}K_a - \lg P_{\text{ow}}); \quad R^2 = 0,954. \quad (13)$$

Згідно даним [15] відносна стійкість етаноламонійних гідросульфідів у водних розчинах, як і сульфідів, симбатно корелює із основністю Am, що, очевидно, спричинює залежність (12) при рН 5,0.

$$\text{SCD} = 14,643 + 2,5948 \cdot \text{p}\beta_{\text{II}}; \quad R^2 = 0,9607. \quad (14)$$

Таким чином, отримані спектрофотометричні та кольорометричні дані щодо хімізму взаємодії в системах $\text{SO}_2 - \text{Am} - \text{H}_2\text{O}$ підтверджують і доповнюють наявну інформацію (отриману і узагальнену раніше). Виявлені закономірності можуть бути використані при розробці хемосорбентів кислих газів, зокрема оксиду сірки (IV), з індикацію “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України на корисну модель UA 94660, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А.-А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. Н., Наумчак В. А. № u201405985; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.
2. Патент України на корисну модель UA 100331, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А.-А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. Н. № u201414213; заявл. 31.12.2014; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.
3. Патент України на корисну модель UA 100677, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А.-А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. Н. № u201413733; заявл. 22.12.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
4. Патент України на винахід UA 112848, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А.-А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. М., Березовська Т. І. № a201305812; заявл. 07.05.2013; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
5. Патент України на корисну модель UA 119094, МПК С09К 21/10, В01D39/00, D06M 11/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А.-А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. М. № u201703108; заявл. 03.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 21.
6. Патент України на корисну модель UA 119763, МПК В01D39/00, С09К 21/00, D06M 11/00, D06M 13/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А., Хома Р. С., Длубовський Р. М., Абрамова Н. М. № u201703119; заявл. 03.04.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
7. Патент України на корисну модель № 133560, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу*. Еннан А. А., Хома Р. С., Захаренко Ю. С., Абрамова Н. М. № u201811398; заявл. 19.11.2018; опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7.
8. Хома Р. С., Еннан А. А.-А., Беньковська Т. С., Бугова Є. Ю., Осадчий Л. Т., Менчук К. М. Кислотнo-основні властивості системи $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{Тропеолін ООО} - \text{H}_2\text{O}$ в присутності HCl , HClO_4 , H_2SO_4 та $\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ // Вісник ОНУ. Хімія. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 26-38. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.4\(80\).248292](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.4(80).248292)
9. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Bienkovska T.S., Dlubovskii R.M., Vodzinskii S.V., Mykhailova T.V. The impregnated fibrous chemisorbents for colorimetric detection of the sulfur dioxide. // Укр. хім. журн. – 2022. – Т. 87, № 1. – С. 35–48. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.88.01.2022.35-48>
10. Хома Р. Е., Шестака А. А., Гельмбольдт В. О. Состав и относительная устойчивость продуктов взаимодействия оксида серы (IV) с водными растворами этаноламинов. // Питання хімії та хімічн. технолог. – 2009. – № 5. – С. 86–89.
11. Хома Р. Е., Шестака А. А., Гельмбольдт В. О. Взаимодействие оксида серы (VI) с водными растворами моноэтаноламина. // Вісник ОНУ. Хімія. – 2010. – Т. 15, № 12. – С. 34–44.
12. Хома Р. Е., Шестака А. А., Эннан А. А., Гельмбольдт В. О. О составе продуктов взаимодействия оксида серы (IV) с водными растворами этаноламинов. // Вісник ОНУ. Хімія. – 2011. – Т. 16, № 5. – С. 105–113.

13. Хома Р.Е., Шестака А.А., Гельмбольдт В.О. О взаимодействии оксида серы (IV) с водными растворами этаноламинов. // Журн. прикл. химии.– 2012.– Т. 85, № 11.– С. 1656–1665. <https://doi.org/10.1134/S1070427212110067>
14. Хома Р.Е. Состав и относительная устойчивость продуктов взаимодействия оксида серы (IV) с водными растворами морфолина и N-алкилированных производных моноэтаноламина. // Питання хімії та хімічн. технолог.– 2015.– № 5.– С. 42–46.
15. Хома Р.Е., Дубовский Р.М., Гельмбольдт В.О. Хемосорбция диоксида серы водными растворами этаноламинов в статических условиях // Журн. общей химии.– 2016.– Т. 86, № 8.– С. 1271–1279. <https://doi.org/10.1134/S1070363216080065>
16. Хома Р.Е., Эннан А.А.-А., Чеботарев А.Н., Водзинский С.В., Маянская А.О. Термодинамика диссоциации этаноламмонийных катионов в водных растворах. // Вісник ОНУ. Хімія.– 2017.– Т. 22, № 1.– С. 6–19. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2017.1\(61\).94707](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2017.1(61).94707)
17. Хома Р.Е. Кислотно-основна взаємодія та сульфоекиснення при хемосорбції оксиду сульфору (IV) водними розчинами алкіламінів: Дис. ... докт. хім. наук: 02.00.01. 2019, Київ.– 427 с.
18. Christensen J.J., Izatt R.M., Wrathall D.P., Hansen L.D. Thermodynamics of proton ionization in dilute aqueous solution. Part XI. pK , ΔH° , and ΔS° values for proton ionization from protonated amines at 25°. // J. Chem. Soc.– 1969. Vol A0, N0.– P. 1212–1223. <https://doi.org/10.1039/j19690001212>
19. Sangster J. Octanol-Water Partition Coefficients: Fundamentals and Physical Chemistry. // J. Phys. Chem. Ref. Data.– 1989.– Vol. 18, N3.– P. 1111–1229. <https://doi.org/10.1063/1.555833>

Стаття надійшла до редакції 28.10.2022

**R. E. Khoma^{1,2*}, T. S. Bienkovska¹, E. Yu Bugova²,
L. T. Osadchii¹, S. V. Vodzinskii^{1,2}, S. V. Toporov²**

¹Physical-Chemical Institute for Environment and Human Protection of MES of Ukraine and NAS of Ukraine, Preobrazhenskaya str., 3, Odessa, 65082, Ukraine;

²Odessa I. I. Mechnikov National University, Dvoryankaya str., 2, Odessa, 65082, Ukraine

*email: rek@onu.edu.ua

SO_2 – Am (KOH) – TROPEOLIN OOO – H_2O (Am – ETHANOLAMINES, MÓRPHOLINE) SYSTEMS ACID-BASE PROPERTIES

The study of data on acid-base properties of model systems SO_2 – KOH – TrOOO – H_2O and SO_2 – Am – TrOOO – H_2O (TrOOO – tropeoline OOO; Am – diethanolamine (DEA), triethanolamine (TEA), N-methylmonoethanolamine (MMEA) and morpholine (Mf) at 293 K using pH-, spectrophotometry and colorimetry methods are presented. There is a pronounced isosbestic point at 415 nm in the electronic absorption spectra of the systems SO_2 – Am – TrOOO – H_2O (Am = MMEA, MEA and TEA; $pH \leq 7.5$; $T = 293$ K), which indicates the presence of a dynamic equilibrium between ion-molecular forms. According to the width of the absorption spectra, the bases in the region of $2.0 \leq pH \leq 8.0$ can be arranged in the following row: MEA > Mf > KOH > DEA > TEA > MMEA. The bases can be arranged in the following rows for the effect on optical density at 490 nm: KOH > Mf \geq MEA > DEA \geq TEA (at $5.5 \leq pH < 9.0$); KOH = MEA = Mf > DEA = TEA (at $pH < 6.0$).

According to the values of optical density at 360 nm in the region of $2.0 \leq pH < 8.5$, the bases can be arranged in the following row: Mf > KOH \geq MEA \geq DEA > MMEA > TEA.

The total color difference (ΔE_{76}) and specific color difference (SCD) values were calculated by colorimetric method as a function of pH. The acid-base dissociation constants in the SO_2 – Am (KOH) – TrOOO – H_2O systems significantly depend on the structure and physicochemical properties of the organic base and differ significantly from those in the HCl ($HClO_4$, H_2SO_4) – MEA – TrOOO – H_2O systems.

The interrelation of colorimetric functions was established (total color difference and specific color difference) of SO_2 – Am – TrOOO – H_2O systems with molar refraction Am, empirical

function $pK_a - \lg P_{ow}$, which combines the basicity and hydrophilicity of Am, formation constants of ammonium sulfites and hydrosulfites, pH- (dpH/dpQ_{SO_2}), redox- (dE/dpQ_{SO_2}) and conductometric ($\Delta\kappa$) titration curves of Am aqueous solutions with gaseous sulfur dioxide.

Keywords: colorimetry, ethanolamines, morpholine, aqueous solutions, sulfur dioxide.

REFERENCES

1. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N., Naumchak V.A. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 94660, publ. 25.11.2014 (in Ukrainian)
2. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N., Naumchak V.A. *Composition for Impregnation of Filtering Material*. Patent UA, no 100331, publ. 27.07.2015. (in Ukrainian)
3. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 100677, publ. 10.08.2015. (in Ukrainian)
4. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N., Berezov'ska T.I. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 112848, publ. 10.11.2016. (in Ukrainian)
5. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 119094, publ. 11.09.2017. (in Ukrainian)
6. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Dlubovskiy R.M., Abramova N.N. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 119763, publ. 10.10.2017. (in Ukrainian)
7. Ennan A.A.-A., Khoma R.E., Zakharenko Yu.S., Abramova N.N. *Composition for Impregnating Filter Materials*. Patent UA, no 133560, publ. 10.04.2019. (in Ukrainian)
8. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Ben'kov'ska T.S., Bugova E. Yu., Osadchiy L. T., Menchuk E. M. HOCH₂CH₂NH₂–Tropeolin OOO–H₂O system acid-basic properties in the presence of HCl, HClO₄, H₂SO₄ and SO₂×H₂O. *Visn. Odes. nac. univ., Him.*, 2021, vol. 26, no 4, pp. 26–38. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.4\(80\).248292](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.4(80).248292) (in Ukrainian)
9. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Bienkovska T.S., Dlubovskii R.M., Vodzinskii S.V., Mykhailova T.V. *The impregnated fibrous chemisorbents for colorimetric detection of the sulfur dioxide*. *Ukr. Chem. J.*, 2022, vol. 87, no 1, pp. 35–48. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.88.01.2022.35-48>
10. Khoma R.E., Shestaka A.A., Gelmboldt V.O. *The composition and the relative stability of products of sulfur(IV) oxide interaction with ethanolamines aqueous solutions*. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.*, 2009, no 5, pp. 86–89. (in Russian)
11. Khoma R.E., Shestaka A.A., Gelmboldt V.O. *Sulphur dioxide interaction with monoethanolamine aqueous solutions*. *Visn. Odes. nac. univ., Him.*, 2010, vol. 15, no 12, pp. 34–44. (in Russian)
12. Khoma R.E., Shestaka A.A., Ennan A.A.-A., Gelmboldt V.O. *On the structure of interaction products of sulfur dioxide with ethanolamines in aqueous solutions*. *Visn. Odes. nac. univ., Him.*, 2011, vol. 16, no 5, pp. 105–113. (in Russian)
13. Khoma R.E., Shestaka A.A., Ennan A.A.-A., Gelmboldt V.O. *On interaction of sulfur(IV) oxide with aqueous solutions of ethanolamines*. *Russ. J. Appl. Chem.*, 2012, vol. 85, no 11, pp. 1667–1675. <https://doi.org/10.1134/s1070427212110067>
14. Khoma R.E. *The composition and the relative stability of products of sulfur dioxide interaction with morpholine and N-alkylated monoethanolamines derivatives aqueous solutions*. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.*, 2015, no 5, pp. 42–46.
15. Khoma R.E., Dlubovskii R.M., Gelmboldt V.O. *Chemisorption of sulfur dioxide by aqueous solutions of ethanolamines under static conditions*. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2016, vol. 86, no 8, pp. 1271–1279. <https://doi.org/10.1134/S1070363216080065>
16. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Chebotaryov A.N., Vodzinskii S.V., Mayans'kaya A.O. *Thermodynamics of ethanolammonium cationes dissociation in aqueous solutions*. *Visn. Odes. nac. univ., Him.*, 2017, vol. 22, no 1, pp. 6–19. [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2017.1\(61\).94707](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2017.1(61).94707) (in Russian)
17. Khoma R.E. *Acid-base interaction and sulfoxidation at chemisorption of sulfur dioxide by alkylamines aqueous solutions*. Thesis of Doct. dissertation, 02.00.01. Kiyiv, 2019, 427 p. (in Ukrainian)
18. Christensen J.J., Izatt R. M., Wrathall D.P., Hansen L. D. *Thermodynamics of proton ionization in dilute aqueous solution. Part XI. pK, ΔH°, and ΔS° values for proton ionization from protonated amines at 25°*. *J. Chem. Soc.*, 1969, vol A0, no 0, pp. 1212–1223. <https://doi.org/10.1039/j19690001212>
19. Sangster J. *Octanol-Water Partition Coefficients: Fundamentals and Physical Chemistry*. *J. Phys. Chem. Ref. Data.*, 1989, vol. 18, no 3, pp. 1111–1229. <https://doi.org/10.1063/1.555833>